

Université Abdelmalek Essaâdi

Département de physique

Tétouan

Année: 08 – 09

SMA / SMI

TD de Thermodynamique
Série n° 3

Exercice n° 1 : *(Lundi)*

On étudie une machine ditherme fonctionnant suivant le cycle de **Stirling**. On distingue dans ce cycle :
- deux transformations réversibles **isochores** (V_{min} et V_{max})
- deux transformations réversibles **isothermes** aux températures T_1 et T_2 ($T_1 < T_2$).

Le fluide décrivant ce cycle ABCDA (dans le sens trigonométrique) est assimilé à un **gaz parfait.**

On donne :
- température de la source froide $T_1 = 276K$
- température de la source chaude $T_2 = 293K$
- rapport volumétrique $\frac{V_{max}}{V_{min}} = 3$
- constante du gaz parfait $R = 8{,}32\ J.mol^{-1}.K^{-1}$
- $C_v = 21\ J.mol^{-1}.K^{-1}$

l°) Quelle est la nature de chacune des transformations A-B, B-C, C-D et D-A ?

2°) Pour **une mole** de fluide :

a- Exprimer pour chacune des transformations le travail et la quantité de chaleur échangés, et calculer leurs valeurs numériques pour les transformations A-B et B-C.

b- Exprimer le travail total W échangé par cycle entre le fluide et le milieu extérieur. Le fonctionnement du cycle est –il moteur ou récepteur ? Justifier la réponse.

3°) On appelle Q_1 la quantité de chaleur prise à la source froide par une mole de fluide au cours d'un cycle. En utilisant les résultats de la question 2°), donner la valeur numérique de Q_1.

Exercice n° 2 : *(Samedi)*

Un gaz parfait subit les transformations réversibles représentées sur le diagramme ci -dessous :

AB : détente adiabatique telle que $V_B = 2\ V_A$

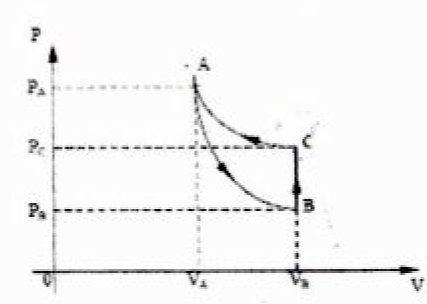
CA : compression isotherme

On donne :

$P_A = 1$ bar, $V_A = 0{,}1$ l, $T_A = 300$ K



$C_p = 29\ J.mol^{-1}.K^{-1}$, et $\gamma=1{,}4$.



1°) Comment appelle-t-on la transformation BC ?

2°) Calculer le nombre de moles n de ce gaz.

3°) Calculer la pression P_B et la température T_B du gaz au point B, la pression P_C du gaz au point C.

4°) Calculer la quantité de chaleur Q_{BC} et le travail W_{BC} reçus par le système pour la transformation BC.

5°) Appliquer le premier principe au cycle ABCA et en déduire le travail W_{AB} reçu par le gaz.

Exercice n° 3 : *(Lundi)*

Une pompe prélève de l'air dans l'atmosphère à une température de 27°C à la pression de 1 atm. Elle remplit en une minute une bouteille de 20 l de telle façon que la pression finale soit de 10 atm, l'air étant alors à une température de 57°C.

On admet : - que la transformation subie par l'air équivaut à deux transformations quasi -statiques:

- une transformation 1-2 à température constante
- une transformation 2-3 à volume constant.

- que l'air peut être assimilé à un gaz parfait, et que la bouteille était préalablement vide d'air.

1°) Calculer le nombre de moles d'air subissant ces transformations

2°) Calculer le volume initial V_1 occupé par cet air

3°) Déterminer l'état théorique du gaz (P_2, V_2, T_2) à la fin de la transformation 1-2

4°) Calculer la puissance minimale de la pompe.

Exercice n° 4 : *(Samedi)*

Une pompe à chaleur fonctionne entre deux sources : une **nappe souterraine** qui constitue la source froide et **l'eau du circuit de chauffage** qui constitue la source chaude.

Le fluide utilisé dans cette pompe est de l'air (gaz parfait) de $C_P = 29,1\ J.K^{-1}.mol^{-1}$, et $\gamma = 1,4$.

L'air de la pompe à chaleur décrit le cycle de transformations réversibles suivant :

- une **compression adiabatique** de l'état initial A ($P_A = 10^5$ Pa, $T_A = 25°C$) à l'état B ($P_B = 2,2.10^5$ Pa)
- une transformation **isobare** de l'état B à C ($T_C = 67°C$) où l'air reçoit de la source chaude une quantité Q_1
- une **détente adiabatique** de l'état C à l'état D ($P_D = P_A$)
- une transformation **isobare** de l'état D à A où l'air reçoit de la source froide une quantité de chaleur Q_2

On effectuera les calculs relatifs à une mole d'air. cède à la source chaude.

1°) Placer les points B, C, D sur le diagramme de Clapeyron

2°) Calculer les volumes V_A et V_B

3°) Calculer les températures T_B et T_D

4°) Pour chaque cycle, calculer :

a - les quantités de chaleur Q_1 et Q_2

b - le travail W reçu au cours de la totalité du cycle.

5°) Exprimer l'efficacité ε de la pompe à chaleur en fonction des données, et calculer sa valeur.

Exercice n° 5 : *(Lundi)*

Le fonctionnement du **moteur à explosion** peut être modélisé par le cycle théorique de **Beau de Rochas**. Ce cycle peut se décomposer en quatre temps :

le premier temps : une **compression adiabatique** réversible AB du mélange combustible avec $a = \frac{V_A}{V_B}$





le deuxième temps : une **compression isochore** BC, résultant de la combustion du mélange

le troisième temps : une **détente adiabatique** selon CD. En D, le piston est au point mort bas : $V_D = V_A$

le quatrième temps : un **refroidissement isochore** DA.

La quantité de carburant injecté étant négligeable par rapport à celle de l'air aspiré. Le cycle est étudié pour une mole d'air assimilé à un gaz parfait.

1°) Tracer l'allure de P(V) du cycle **2°)** Déterminer les volumes V_A et V_B aux points A et B.

3°) Calculer la pression P_B et la température T_B au point B

4°) Exprimer, en fonction des températures aux extrémités du cycle, les quantités de chaleur algébriques Q_{AB}, Q_{BC}, Q_{CD} et Q_{DA} échangées avec le milieu extérieur au cours de chacune des quatre phases. Calculer leurs valeurs numériques. En déduire par application du Premier Principe, la valeur algébrique W_{cycle}.

5°) Calculer le rendement η de ce cycle.

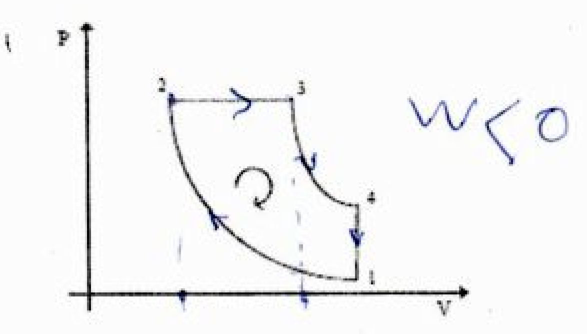
Données :

$C_p = 29$ J.mol^{-1}.K^{-1}, $\gamma=1,4$, a = 7 (rapport volumique), $P_A = 10^5$ Pa, $P_C = 62.10^5$ Pa, $P_D = 4,08.10^5$ Pa

$T_A = 300$ K, $T_C = 2,65.10^3$ K, $T_D = 1,21.10^3$ K.

Exercice n° 6 : *(Samedi)*

L'étude porte sur un moteur thermique (**type Diesel**). Chaque transformation est considérée comme réversible. Les trajets 1-2 et 3-4 sont **adiabatiques**.



état 1 : P_1= 1 bar, T_1= 300 K, **état 2** : $\frac{V_1}{V_2} = 14$, **état 3** : T_3= 1340 K, **état 4** : T_4= 556 K

Les calculs porteront sur une mole d'air. On donne $\gamma = C_p/C_v=1,4$ et $C_V = 20,8$ J.mol^{-1}.K^{-1}

1°) Calculer la température T_2

2°) Pourquoi T_3 est-elle la température la plus élevée sur le cycle ?

3°) Déterminer la quantité de chaleur échangée par une mole d'air au cours de chaque transformation.

4°) En déduire W_{cycle}.

5°) Déterminer le rendement théorique du moteur.

6°) Le rendement réel n'est que de 0,45. Le fuel utilisé dégage 45.10^3 kJ par litre lors de la combustion. Sachant que ce moteur consomme 1 litre de fuel par heure, calculer le **travail mécanique** qu'il fournit en une heure et sa **puissance mécanique**.

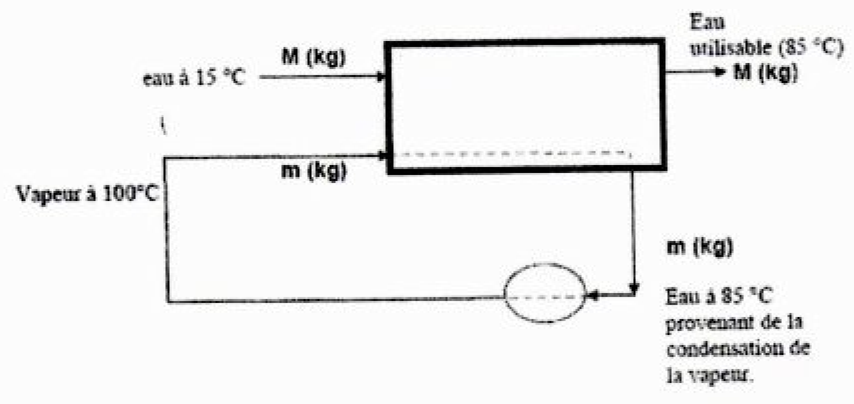


Exercice n° 7 :

Une entreprise doit installer un dispositif de chauffage de l'eau de distribution de la ville. Captée à la température T_1 = 15°C, l'eau doit être livrée à la température finale T_2 = 85°C. Le dispositif est prévu pour réchauffer une masse M = 1000 kg d'eau par **heure**.

On donne la capacité thermique massique de l'eau liquide : $C_P = 4180\ J.kg^{-1}.K^{-1}$

Le dispositif de chauffage (voir figure) comporte une chaudière qui produit par heure une masse m de vapeur d'eau à 100°C. Cette vapeur pénètre avec l'eau à réchauffer dans un échangeur supposé parfaitement calorifugé.



1°) Calculer la quantité de chaleur Q_{eau} absorbée par 1000 kg d'eau dont la température passe de T_1 à T_2. Calculer la puissance calorifique reçue par l'eau à réchauffer.

2°) La chaleur est fournie par la combustion de fuel dans la chaudière. Chaque kilogramme de fuel brûlé donne une quantité de chaleur de $4{,}2.10^7$ J. En supposant le rendement de la chaudière égal à 0,8, calculer la consommation horaire de fuel.

3°) Donner l'expression de la quantité de chaleur Q_1 absorbée par une masse m de vapeur d'eau qui passe de l'état gazeux à l'état liquide. La chaleur de condensation de la vapeur d'eau est L_C = - 2257 kJ/kg.

4°) Donner l'expression de la quantité de chaleur Q_2 absorbée par la masse m d'eau provenant de la condensation de la vapeur en passant de la température T'_1 = 100°C à la température T'_2 = 85°C.

5°) On considère le système formé par la masse M d'eau à réchauffer et la masse m de vapeur d'eau. On admet que ce système n'échange pas de chaleur avec l'extérieur (transformation **adiabatique**).

a- Ecrire l'équation calorimétrique reliant Q_{eau}, Q_1 et Q_2.

b- En déduire la masse m de vapeur d'eau nécessaire pour faire passer la température de 1000 kg d'eau de 15°C à 85°C.

Remarque *: ces exercices et leurs corrigés, peuvent être consultés sur :*

http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/physique/PHYS/Bts-Main/thermo1.htm

Cours n° 7 : Les machines thermiques dithermes.



SÉRIE n° 3

Exercice 2

① On appelle la transformation BC : un réchauffement isochore.

② On a : $P_A V_A = n R T_A$

$$n = \frac{P_A V_A}{R T_A}$$

$R = ?$

* Selon la relation Mayer :

$C_p - C_v = R \iff \frac{C_p}{C_p} - \frac{C_v}{C_p} = \frac{R}{C_p}$ (J/mol.K)

$\iff 1 - \frac{1}{\gamma} = \frac{R}{C_p} \iff \frac{\gamma - 1}{\gamma} = \frac{R}{C_p}$

$\iff R = \frac{(\gamma - 1) C_p}{\gamma}$

$R = \frac{(1,4-1)}{1,4} \cdot 29 = \frac{0,4}{1,4} \cdot 29$

$R = 8,28$

$n = \frac{10^5 \cdot 10^{-4}}{8,28 \times 300}$

$n = 0,004$ mol

③ A → B : Détente adiabatique.

• $P_A V_A^\gamma = P_B V_B^\gamma \iff P_B = \left(\frac{V_A}{V_B}\right)^\gamma P_A = \left(\frac{V_A}{2V_A}\right)^\gamma P_A = \frac{10^5}{2^{1,4}} = 3,8 \cdot 10^4 \text{ Pa} = P_B$

• $T_A V_A^{\gamma-1} = T_B V_B^{\gamma-1} \iff T_B = \left(\frac{V_A}{V_B}\right)^{\gamma-1} T_A = \frac{300}{2^{0,4}} = 229 \text{ K} = T_B$

* B → C : réchauffement isochore : $V_C = V_B$

• 1ère méthode :

$P_C V_C = n\left(\frac{\gamma-1}{\gamma} C_p\right) T_C$

$\iff P_C = \frac{0,004 \cdot T_A \cdot R}{V_C} = \frac{0,004 \times 8,28 \times 300}{2 \cdot 10^{-4}}$ ($V_C = V_B$)

$P_C \simeq 49860$ Pa

$P_C = 49680$ Pa

• 2ème méthode

B → C : V = cte

$\frac{T_C}{T_B} = \frac{P_C}{P_B} \iff P_C = \frac{T_C P_B}{T_B}$

avec $T_C = T_A$

$P_C = \frac{T_A \cdot P_B}{T_B} = 49810$ Pa

$P_C = 49781$ Pa

④ $Q_{BC} + W_{BC} = \Delta U_{BC}$

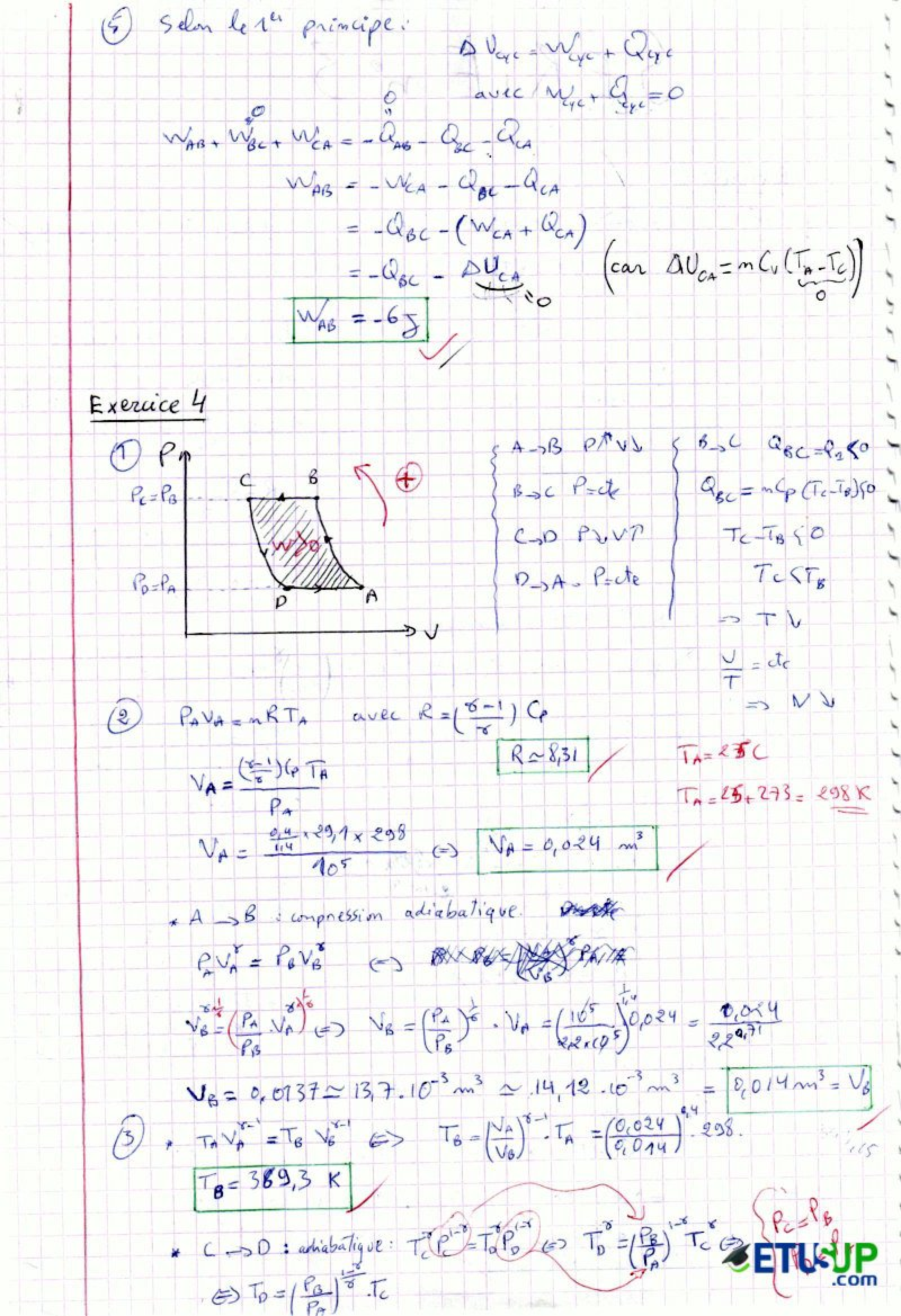
$Q_{BC} = \Delta U_{BC}$ (avec $W_{BC} = 0$)

$= n C_v dT$ (avec $C_v = \frac{C_p}{1,4} = 20,71$)

$= 0,004 \times 20,71 (T_C - T_B) = 0,08 \times (300 - 229)$

$Q_{BC} = 5,88 \text{ J} \simeq 6 \text{ J}$





(5) Selon le 1er principe :

$$\Delta U_{cyc} = W_{cyc} + Q_{cyc}$$

avec $W_{cyc} + Q_{cyc} = 0$

$$W_{AB} + \overset{0}{W_{BC}} + W_{CA} = -\overset{0}{Q_{AB}} - Q_{BC} - Q_{CA}$$

$$W_{AB} = -W_{CA} - Q_{BC} - Q_{CA}$$

$$= -Q_{BC} - (W_{CA} + Q_{CA})$$

$$= -Q_{BC} - \underbrace{\Delta U_{CA}}_{=0} \quad \left(\text{car } \Delta U_{CA} = m C_V (\underbrace{T_A - T_C}_{0})\right)$$

$$\boxed{W_{AB} = -6\,J}$$

Exercice 4

(1)

$A \to B$ $P \nearrow V \searrow$

$B \to C$ $P = cte$

$C \to D$ $P \searrow V \nearrow$

$D \to A$ $P = cte$

$B \to C$ $Q_{BC} = Q_2 < 0$

$Q_{BC} = m C_p (T_C - T_B) < 0$

$T_C - T_B < 0$

$T_C < T_B$

$\Rightarrow T \searrow$

$\frac{V}{T} = cte$

$\Rightarrow V \searrow$

(2) $P_A V_A = n R T_A$ avec $R = \left(\frac{\gamma - 1}{\gamma}\right) C_p$

$\boxed{R \simeq 8{,}31}$

$T_A = 25°C$

$T_A = 25 + 273 = 298\,K$

$$V_A = \frac{\left(\frac{\gamma-1}{\gamma}\right) C_p T_A}{P_A}$$

$$V_A = \frac{\frac{0{,}4}{1{,}4} \times 29{,}1 \times 298}{10^5} \Leftrightarrow \boxed{V_A = 0{,}024\ m^3}$$

* $A \to B$: compression adiabatique.

$$P_A V_A^\gamma = P_B V_B^\gamma \Leftrightarrow$$

$$V_B^{\gamma \frac{1}{\gamma}} = \left(\frac{P_A}{P_B} V_A^\gamma\right)^{\frac{1}{\gamma}} \Leftrightarrow V_B = \left(\frac{P_A}{P_B}\right)^{\frac{1}{\gamma}} \cdot V_A = \left(\frac{10^5}{2{,}2 \times 10^5}\right)^{\frac{1}{1{,}4}} 0{,}024 = \frac{0{,}024}{2{,}2^{0{,}71}}$$

$$V_B = 0{,}0137 \simeq 13{,}7 \cdot 10^{-3}\ m^3 \simeq 14{,}12 \cdot 10^{-3}\ m^3 = \boxed{0{,}014\ m^3 = V_B}$$

(3) * $T_A V_A^{\gamma-1} = T_B V_B^{\gamma-1} \Leftrightarrow T_B = \left(\frac{V_A}{V_B}\right)^{\gamma-1} \cdot T_A = \left(\frac{0{,}024}{0{,}014}\right)^{0{,}4} \cdot 298.$

$$\boxed{T_B = 369{,}3\ K}$$

* $C \to D$: adiabatique : $T_C^\gamma P_C^{1-\gamma} = T_D^\gamma P_D^{1-\gamma} \Leftrightarrow T_D^\gamma = \left(\frac{P_B}{P_A}\right)^{1-\gamma} T_C^\gamma \Leftrightarrow$ $\{P_C = P_B$

$$\Leftrightarrow T_D = \left(\frac{P_B}{P_A}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \cdot T_C$$

$\Leftrightarrow T_D = \left(\frac{P_B}{P_A}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} . T_C = \left(\frac{2{,}2.10^5}{10^5}\right)^{\left(\frac{1-1{,}4}{1{,}4}\right)} . 340$ $\quad (T_C(K) = 67 + 273 = 340\ K)$

$T_D = (2{,}2)^{\left(\frac{-0{,}4}{1{,}4}\right)} . 340 = (2{,}2)^{-0{,}28} . 340 =$ ~~421,6~~ $K = T_D$ $\quad 272{,}6\ K$

(4) $Q_1 = Q_{BC} = n C_p \Delta T = 29{,}1 (T_C - T_B) = 29{,}1 (340 - 369{,}3)$
$= 29{,}1 . (-29{,}3) = -852{,}63\ J$

$Q_2 = Q_{DA} = n C_p (T_A - T_D) = 29{,}1 (298 - 421{,}6) = 29{,}1 \times (-123{,}6)$

$Q_2 = -3596{,}76\ J$

* $W_{cyc} = \Delta U - Q_{cyc} = \Delta U - Q_1 - Q_2$
$= n C_v$

(5)

Ex 6

(1) On a $1 \to 2$: adiabatique : $\Leftrightarrow T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$

$\Leftrightarrow T_2 = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} T_1 = (14)^{0{,}4} . 300$

$T_2 = 862{,}12\ K$

(2) On sait que le trajet $1 \to 2$ est adiabatique $\Rightarrow Q_{12} = 0$

On a : $2 \to 3$ isobare : $\Leftrightarrow Q_{23} = n C_p (T_3 - T_2)$

$Q_{23} = \gamma C_v (1340 - 862{,}12)$ $\quad$ Avec ; $\gamma = C_p / C_v \Leftrightarrow C_p = \gamma C_v$

$= 1{,}4 \times 20{,}8 (477{,}88)$

$= 13915\ J = 13{,}9\ KJ.$

* $Q_{34} = 0$ car $3 \to 4$ est une transformat° adiabatique.

* $Q_{41} = n C_v (T_1 - T_4)$ $\quad 4 \to 1$: isochore.

$= 20{,}8 (556 + 300)$

$= -5324{,}8\ J = -5{,}3\ KJ.$

(4) On a selon le 1er principe : $W_{cyc} + Q_{cyc} = 0$

$W_{cyc} = -(Q_{12} + Q_{23} + Q_{34} + Q_{41})$

$= -((13{,}9 - 5{,}3) KJ)$

$W_{cyc} = -8{,}6\ KJ$

(5) $\eta = \left|\frac{W_{cyc}}{Q_{23}}\right| = \left|\frac{-8,5}{13,9}\right| = 0,61$

(6) Le moteur consomme 1 litre par 1 heure.

$Q_{23} = 1 \times 45.10^3 \ KJ/_{h}$

$\eta = 0,45 \Rightarrow |W| = Q_{23} \cdot \eta$

$P = \frac{|W|}{\Delta T} = \quad = 5625 \ (W)$

~~Ex 7~~

(2) L'air est un gaz parfait $\Leftrightarrow PV = nRT \Leftrightarrow T = \frac{PV}{nR} = \frac{PV}{ctes}$ ⊛

D'après ⊛ $T_2 < T_3$ car $(P_2 = P_3$ et $V_2 < V_3)$

On montre que $T_3 > T_4$

On a la transformat° 3 → 4 adiabatique.

$T_3 V_3^{\gamma-1} = T_4 V_4^{\gamma-1}$ Comme $V_4 > V_3 \Rightarrow V_4^{\gamma-1} > V_3^{\gamma-1}$

Alors : $T_3 > T_4$

→ T_3 est la température maximale dans le cycle.

Ex 7

(1) $Q_{eau} = M C_p \Delta T = 1000 \times 4180 (85 - 15) = 4180000 (70)$

$= 292,6 \ 10^6 \ J.$, $P = \frac{Q_{eau}}{\Delta t}$ $81,2 \ Kw$

(2) Il faut que la chaudière cède

$Q_{comb} = \frac{W}{\eta} = \frac{Q_{eau}}{\eta} = \quad 365,75 \ KJ$

Donc en 1 heure il faut brûler ... $= \frac{Q_{comb}}{4,2.10^4} = 8,7 \ Kg$

(3) $Q_1 = m L_c$ (L_c est négative, car, cette chaleur sera rejeté)

(4) $Q_2 = -m \ C_p \ (T'_2 - T'_1)$

Cette chaleur n'est pas absorbée, mais rejetée par l'eau de la chaudière

$Q_2 < 0$ car $T'_2 < T'_1$

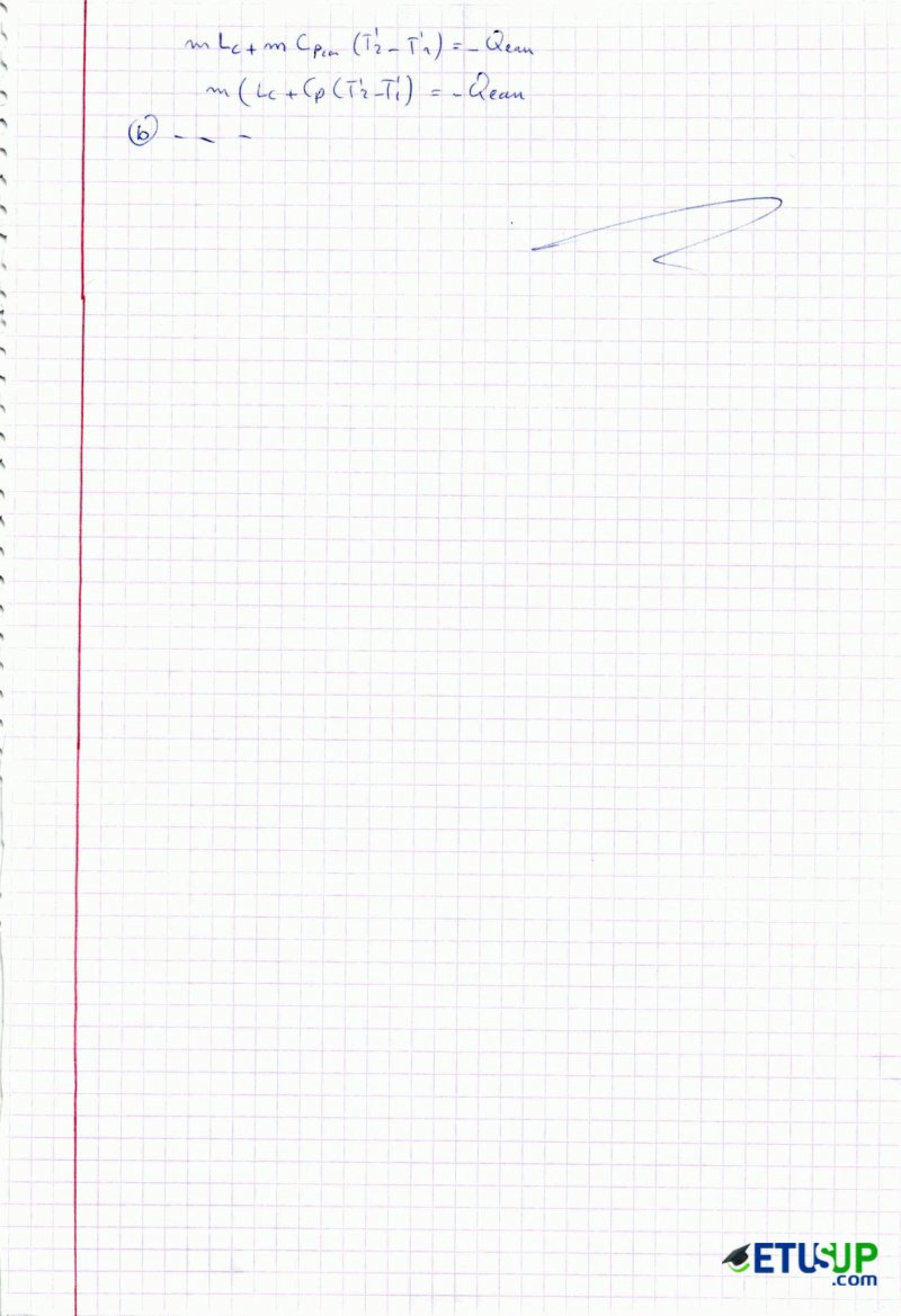
$m L_c + m C_{p_{eau}} (T'_2 - T'_1) = -Q_{eau}$

(5) a/ La relation entre Q_1, Q_2, Q_{eau}

$m (L_c + C_p (T'_2 - T'_1)) = -Q_{eau}$

$E_{système} = 0$ (adiabatique)

$Q_1 + Q_2 + Q_{eau} = 0$



$$m L_c + m C_{p_{eau}} (T'_2 - T'_1) = - Q_{eau}$$

$$m \left(L_c + C_p (T'_2 - T'_1) \right) = - Q_{eau}$$

(b) - - -


ETUSUP.com